

## Évaluation de la performance de murs extérieurs en maçonnerie massive soumis à des travaux de rattrapage

### INTRODUCTION

Au Canada, on rénove et on convertit à des fins résidentielles de nombreux bâtiments commerciaux ou industriels dont les murs extérieurs sont en maçonnerie massive. Il est toutefois souhaitable de leur ajouter un isolant thermique, afin d'accroître l'efficacité énergétique ainsi que le confort des occupants. On s'interroge depuis longtemps afin de découvrir si l'isolation de la paroi intérieure du mur pouvait accroître le risque de condensation et de gel dans l'élément pendant la période de chauffage en plus d'en prolonger la période d'assèchement. En effet, cette combinaison de facteurs est susceptible, sous certaines conditions, de réduire l'intégrité et la durabilité de l'enveloppe du bâtiment. On continue donc de s'interroger sur la meilleure façon d'accroître les propriétés isolantes des murs existants en maçonnerie massive sans compromettre leur durabilité.

La recherche réalisée en 2003 englobe des essais et une vérification quant aux résultats d'une évaluation préliminaire de la performance de neuf bâtiments existants. Tous les cas portaient sur des ouvrages récents où l'isolant thermique avait été posé sur la paroi intérieure des murs en maçonnerie massive. De plus, on a inclus dans l'étude un dixième bâtiment industriel/commercial auquel on n'a pas ajouté d'isolant thermique, en dépit de sa conversion à un usage résidentiel. L'étude s'inscrit dans le cadre d'une série d'évaluations de ce genre de bâtiment qui auront lieu à des intervalles de trois ou quatre ans. Les résultats de la présente démarche constituent une étape initiale qui aidera les praticiens à élaborer différentes stratégies en partageant avec eux les connaissances sur la performance historique des murs en maçonnerie massive ayant déjà fait l'objet de travaux de rattrapage.

### PRÉOCCUPATIONS ENTOURANT L'AUGMENTATION DE LA RÉSISTANCE THERMIQUE DES MURS

À l'aide d'un modèle informatique hygrothermique unidimensionnel, le rapport illustre les problèmes théoriques découlant de l'accroissement de la résistance thermique des murs extérieurs existants en maçonnerie massive. On y procède à une analyse et à une comparaison des différences au chapitre des conditions hygrothermiques entre un mur en maçonnerie non isolé, un mur en maçonnerie dont la paroi intérieure a été isolée et un autre dont la paroi extérieure a été isolée. Toutes ces modélisations ont été réalisées sous des critères de conception hivernaux stables et propres à la ville de Montréal. La modélisation informatique montre que l'absence d'isolant ou que sa présence sur la paroi extérieure favorise le transfert de la chaleur contenue dans le bâtiment, ce qui aide à réchauffer et à assécher les murs en maçonnerie massive existants.

À l'opposé, la modélisation a aussi révélé que l'isolation de la paroi intérieure d'un mur en maçonnerie réduit le transfert de la chaleur entre le bâtiment et la maçonnerie. Or, il en résulte une baisse de la température moyenne dans les murs, et une diminution du taux d'assèchement de l'humidité emprisonnée à l'intérieur des murs en hiver. Le rapport révèle que la diminution de la température moyenne d'un mur en maçonnerie massive imputable à l'ajout d'isolant sur la paroi intérieure, jumelée aux répercussions de l'humidité emprisonnée à l'intérieur du mur (qu'elle soit causée par les précipitations ou la condensation), accroît les risques de dommage sous les effets du gel-dégel et de détérioration de la maçonnerie.

Il convient de noter que l'analyse susmentionnée simplifie de façon exagérée les conditions qui prévalent tant dans mur isolé que non isolé. Dans le cas du mur non isolé, le flux de chaleur à travers le mur n'est sans doute pas suffisamment uniforme pour le garder chaud dans toutes les conditions climatiques. Les cycles de gel-dégel agiront sur toute l'épaisseur du mur, mais surtout à proximité de sa paroi extérieure. Dans le cas des murs isolés, les cycles de gel-dégel peuvent agir plus près de la paroi

intérieure du mur. À savoir dans quelle mesure l'action du gel-dégel pourrait nécessairement occasionner des dommages dépassé la portée de cette étude.

## DIRECTIVES GÉNÉRALES EN MATIÈRE D'ISOLATION DES MURS EN MAÇONNERIE MASSIVE

Le rapport fournit des directives de conception générales dont il faut tenir compte lorsque l'on pose un isolant sur la paroi intérieure d'un ouvrage en maçonnerie massive, de manière à réduire les risques de dommage sous l'effet du gel-dégel et de détérioration de la maçonnerie. Ces directives permettent également de réduire au minimum la pénétration de la pluie, de contrôler l'humidité intérieure, de prévenir la diffusion de la vapeur d'eau et les infiltrations d'air, tout en aménageant la différence de pression de part et d'autre du mur.

## ÉTUDES DE CAS

Les 10 bâtiments à l'étude sont situés dans la province de Québec, dont neuf dans la région de Montréal et un à Léry, (bâtiment n° 10 du tableau 2). Chaque bâtiment a fait l'objet d'une évaluation préliminaire de la performance comprenant ce qui suit :

- des entrevues avec le gestionnaire immobilier, le propriétaire ou un concepteur professionnel afin d'obtenir des données historiques sur les travaux de rattrapage réalisés;
- l'examen de tous les dessins d'exécution disponibles ayant trait aux travaux de rattrapage;
- l'examen visuel non destructeur des murs extérieurs en maçonnerie;
- une modélisation informatique et un examen comparatif des conditions hydrothermiques à l'intérieur de chaque mur, avant et après les travaux de rattrapage.

## PARAMÈTRES DE LA MODÉLISATION INFORMATIQUE

La modélisation initiale des 10 études de cas présentées dans le rapport est fondée sur des paramètres de conception propres au climat hivernal de Montréal et de Léry (janvier, 2,5 %), avec une température ambiante extérieure de -23 °C, un taux d'humidité relative extérieure de 90 % (H.R.), une température intérieure de 21 °C, ainsi qu'un taux d'humidité relative intérieure de 35 % (H.R.). Des modélisations additionnelles ont aussi été réalisées dans plusieurs cas afin d'établir le seuil d'humidité relative intérieure susceptible de provoquer ou d'éliminer la condensation à l'intérieur d'un mur.

En raison du logiciel de modélisation, il n'a pas été possible de tenir compte de l'effet de masse thermique, des apports par rayonnement solaire et de l'impact considérable des infiltrations d'air. Par conséquent, la modélisation comprend les résultats comparatifs du taux de condensation prévu sous des conditions stables relativement à chacun

des murs à l'étude, résultant de la diffusion de la vapeur d'eau seulement.

La figure 1 du rapport présente un exemple de modélisation informatique de même que des paramètres d'entrée types et des conditions hydrothermiques de sortie obtenues pour chaque étude de cas examinée et comparée. Dans le rapport, on explique que l'on a choisi les matériaux de construction appropriés prévus dans le logiciel de modélisation pour simuler la composition du mur de chaque étude de cas. Après avoir « représenté » le mur à deux dimensions à l'aide du logiciel, on a saisi les paramètres des conditions hivernales, dont la température extérieure (-23 °C), la température intérieure (21 °C), l'humidité relative extérieure (90 %) et l'humidité relative intérieure (35 %).

La saisie des données types donne un profil à deux dimensions du mur et produit les paramètres de température et d'humidité sur les parois intérieures et extérieures du dessin, tel qu'indiqué dans la cellule supérieure gauche de la figure 1 du rapport. Comme on peut le constater dans la deuxième cellule de la figure 1, les données de sortie produites par la modélisation comprennent une description tabulée de chaque élément du mur, la résistance thermique individuelle de chacun d'eux et la résistance thermique totale du mur en mesures métriques (RSI) et anglaises (R). Dans la troisième cellule de la figure 1, les données de sortie de la modélisation sont également représentées sous forme de graphique qui indique la variation de température (ligne rouge), la pression de vapeur d'eau (ligne verte), de même que la pression de vapeur saturante (ligne bleue), d'une paroi à l'autre du mur, d'après les données saisies sur la composition de ce dernier et les paramètres fournis. Ce graphique indique que la condensation se produit dans le mur à l'endroit où la ligne de pression de vapeur d'eau rencontre celle de la pression de vapeur saturante.

Enfin, les données de sortie de la modélisation fournissent également une confirmation textuelle sur la formation de condensation (cas n° 1) ou son absence (cas n° 2), tel que montré dans la quatrième cellule de la figure 1. Dans les cas où la condensation est confirmée, les résultats en indiquent aussi le taux (en g/m<sup>2</sup>/s et en L/m<sup>2</sup>/jour) de même que le point de rosée (en °C). Dans les deux cas, on obtient également le taux de déperdition de chaleur du mur, ainsi que le coût approximatif des matériaux utilisés pour l'assembler.

Le lecteur trouvera au tableau 1 les résultats comparatifs de la modélisation informatique des murs à l'origine et après rattrapage. Aux fins du rapport, l'analyse des résultats a consisté à comparer les taux de condensation obtenus par la modélisation informatique des murs avant (colonne 4 du tableau 1) et après rattrapage, soit une fois l'isolant ajouté à l'intérieur (colonne 9 du tableau 1). Cette opération a été répétée pour chacun des neuf (9) cas pertinents à l'étude. Lorsque le taux de condensation dans le mur amélioré excède celui du mur d'origine, on en conclut que l'ajout d'isolant thermique à

## Évaluation de la performance de murs extérieurs en maçonnerie massive soumis à des travaux de rattrapage

l'intérieur des murs existants favorise une hausse du taux de condensation découlant de la diffusion de la vapeur d'eau dans tous ces cas. À l'opposé, on en conclut que l'ajout d'isolant thermique du côté intérieur des murs existants a entraîné une diminution du taux de condensation attribuable à la diffusion dans tous les cas où le taux de condensation a reculé après les travaux de rattrapage.

Les auteurs indiquent que dans le contexte de l'analyse décrite précédemment, l'accroissement de la résistance thermique de la paroi intérieure d'un mur de maçonnerie existant pouvait créer, dans le mur, des conditions favorables à une augmentation du taux de condensation par diffusion, sous réserve de conditions ambiantes identiques (température et

humidité relative). C'est ce qui ressort dans six des neuf cas de rattrapage examinés. À l'inverse, deux des cas modélisés (soit les études de cas n° 2 et n° 8) montrent que le rattrapage fondé sur l'isolant thermique a réduit le taux de condensation à l'égard de ces bâtiments en particulier.

Dans les deux derniers cas, on avait ménagé une lame d'air à l'arrière de la maçonnerie, de même que du côté froid du pare-air (polyuréthane projeté). Dans les six autres cas modélisés, soit que les murs ne contenaient aucune lame d'air, soit que la lame d'air avait été prévue du côté chaud du pare-air. L'un des cas (n° 4) qui comprenait une mesure de rattrapage axée sur une zone tampon dynamique a été analysé comme élément statique en raison des limites du logiciel de modélisation.

On saisit les matériaux utilisés pour la construction du mur. La vue en coupe de l'enveloppe sera présentée dans le coin supérieur gauche du dessin produit. Les conditions liées aux milieux extérieur et intérieur figurent de chaque côté de l'élément.

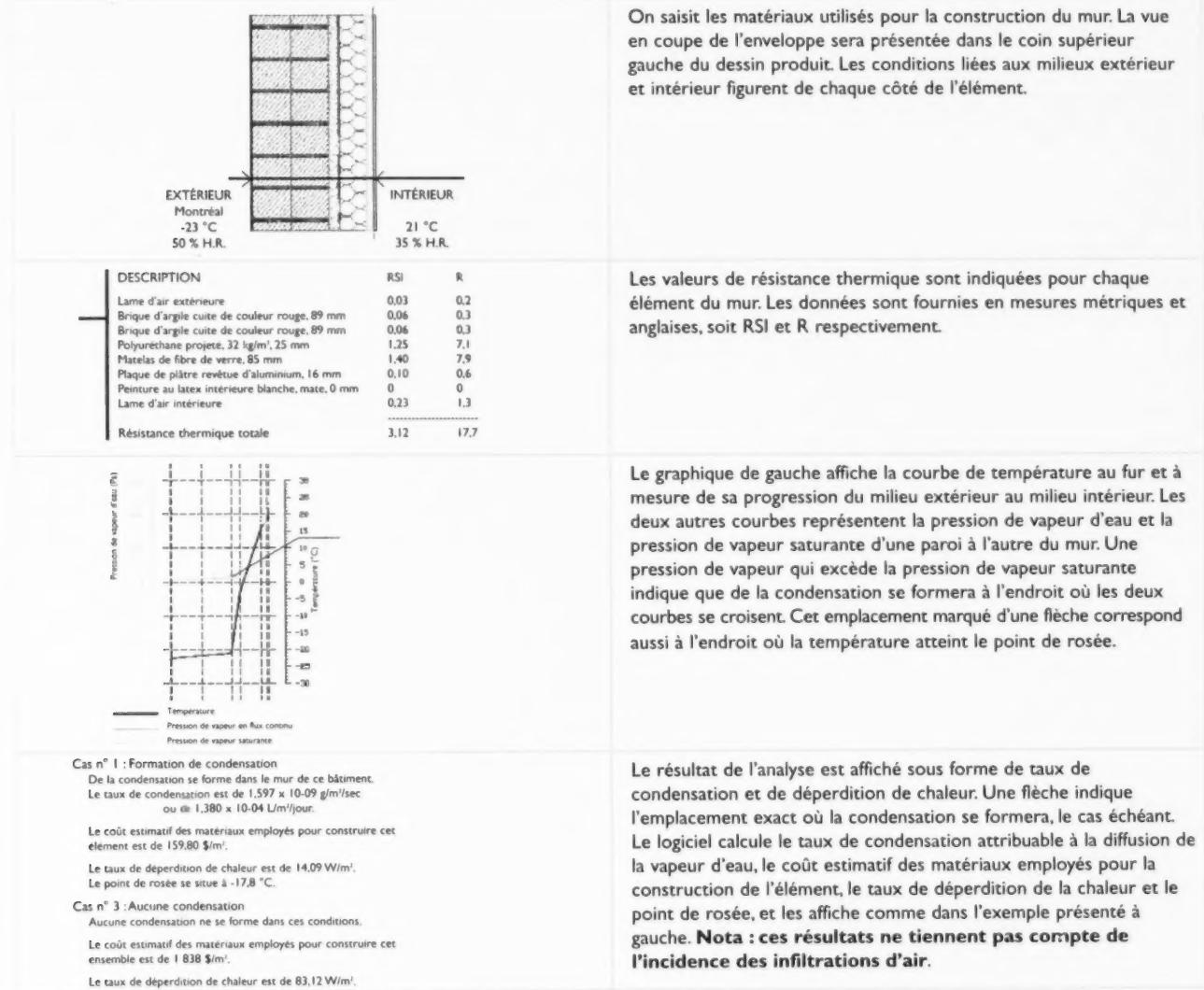


Figure 1 Exemple du résultat de modélisation informatique

Dans le rapport, on prévient que l'omission de l'incidence des infiltrations d'air a produit, dans les simulations, des taux de condensation par diffusion très faibles, qui atteignaient à peine 5,5 mL/m<sup>2</sup>/jour dans chacun des murs simulés. Comme un mur de brique peut absorber au moins 1 % de sa masse sous forme de vapeur d'eau, on présume qu'un mur à double paroi de 200 mm d'épaisseur pourrait emmagasiner jusqu'à 3 600 mL (1 % x 1 800 kg/m<sup>3</sup> x 0,2 m) de vapeur d'eau. Les répercussions attribuables à la diffusion de la vapeur d'eau à l'intérieur des murs de maçonnerie sont négligeables.

## ÉVALUATION DES BÂTIMENTS

Le tableau 2 présente un sommaire des 10 bâtiments examinés au début de 2003, ainsi que des observations générales consignées pendant l'évaluation de chacun des emplacements.

Les trois premières colonnes du tableau 2 fournissent, dans l'ordre, le numéro d'étude de cas attribué au bâtiment, l'année de sa

construction et l'année où les travaux de rattrapage des murs ont été exécutés. Les autres colonnes présentent les renseignements suivants : description du revêtement original (4<sup>e</sup> colonne); description du type d'isolant ajouté ainsi que son épaisseur et description du type et de l'épaisseur des revêtements de finition posés sur la paroi intérieure du mur en maçonnerie d'origine (5<sup>e</sup> et 6<sup>e</sup> colonnes). La 7<sup>e</sup> colonne contient une brève description du bâtiment, particulièrement les éléments verticaux de l'enveloppe susceptibles d'influer sur l'exposition du mur à l'humidité (par ex. la hauteur du bâtiment, la présence de gouttières, la superficie vitrée, les avant-toits, etc.). La 8<sup>e</sup> colonne (Observations visuelles) présente des informations sur les déficiences observées par suite de l'examen visuel du revêtement des murs extérieurs des 10 bâtiments. Dans la dernière colonne du tableau, les chercheurs présentent les résultats de la modélisation informatique en ce qui a trait à la modification réelle du taux de condensation attribuable à l'option de rattrapage appliquée dans chaque étude de cas.

Tableau 1 Sommaire des résultats de la modélisation informatique des murs en maçonnerie

Étude de cas	Construction d'origine				Après les travaux de rattrapage					
	RSI	R	Taux de condensation (mL/m <sup>2</sup> /jour)	Taux de déperdition de chaleur (W/m <sup>2</sup> )	Point de rosée (°Celsius)	RSI	R	Taux de condensation (mL/m <sup>2</sup> /jour)	Taux de déperdition de chaleur (W/m <sup>2</sup> )	Point de rosée (°Celsius)
1	0,25	1,4	Aucun à 20 % H.R.	174,66	s.o.	3,12	17,7	0,04 à 20 % H.R.	14,09	-19,9
2	0,62	3,5	10 à 35 % H.R.	71,17	1,9	2,15	12,2	0,13 à 35 % H.R.	20,5	-18,2
3	0,53	3	Aucun à 35 % H.R.	83,12	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.
4	0,39	2,2	Aucun à 35 % H.R.	112,96	s.o.	1,95	11,1	1,7 à 35 % H.R.	22,52	-2,9
5	0,25	1,4	Aucun à 25 % H.R.	177,79	s.o.	2,55	14,5	2,6 à 25 % H.R.	17,26	-10,3
6	0,31	1,8	0,71 à 35 % H.R.	141,99	4,6	1,93	11	5,5 à 35 % H.R.	22,77	-0,4
7	0,37	2,1	0,14 à 35 % H.R.	120,06	1,7	2,31	13,1	4,5 à 35 % H.R.	19,02	-1,3
8	0,58	3,3	3,0 à 35 % H.R.	75,51	1	2,91	18,5	0,006 à 35 % H.R.	15,12	-18,2
9	0,31	1,8	0,7 à 35 % H.R.	141,99	4,6	2,61	14,8	3,8 à 35 % H.R.	16,87	-3,3
10	0,39	2,2	Aucun à 35 % H.R.	112,96	s.o.	1,94	11	0,14 à 35 % H.R.	22,67	-13,9

**Notes:** 1. Le taux de condensation (par diffusion) indiqué dans le tableau est fondé sur une simulation informatique sous des conditions stables.

2. Les conditions suivantes ont été retenues pour toutes les simulations : température ambiante extérieure de -23 °C; humidité ambiante extérieure de 90 % (H.R.); température ambiante intérieure de 21 °C. Les limites du logiciel de modélisation n'ont pas permis de tenir compte des effets de masse thermique, d'apport par rayonnement solaire et des infiltrations d'air.

Tableau 2 Sommaire des résultats de l'évaluation de la performance des murs en maçonnerie

Travaux de rattrapage des murs extérieurs							Résultats	
Étude de cas	Année de construction	Année du rattrapage	Revêtement d'origine	Nouvel isolant	Nouveau revêtement de finition intérieur	Généralités	Observations visuelles	Résultats de la modélisation (résultats comparatifs)
1	1884	1984	Brique (à double paroi)	Mousse de polyuréthane de $\frac{1}{4}$ à 1 po et matelas de fibre de verre de $1\frac{1}{4}$ po	Plaque de plâtre de $\frac{1}{2}$ po revêtue d'aluminium	Bâtiment de 4 étages de forme rectangulaire; vitré à 50%; aucune saillie; appuis en béton préfabriqué	Les visites effectuées en 2000 et en 2003 n'ont révélé aucun signe de détérioration de la maçonnerie	Augmentation du taux de condensation à l'intérieur du mur
2	1927	2002	Brique d'argile de 4 po et mur de fond en blocs de terre cuite de 8 po	Enduit mural en plâtre de 1 po et mousse de polyuréthane de 1 po	Paravapeur de polyéthylène, fourrure d'acier, plaque de plâtre de $\frac{1}{2}$ po	Bâtiment de 11 étages de forme rectangulaire; vitré à 60%; aucune saillie; appuis en béton préfabriqué; exposition sur 2 faces	Efflorescence mineure des appuis de fenêtres et taches foncées sur la brique (sur 2 façades)	Réduction du taux de condensation à l'intérieur du mur
3	1910	2003	Pierre massive de 28 à 38 po	s.o.	s.o.	Bâtiment de 4 étages de forme rectangulaire; vitré à 10%; exposition sur 4 faces	Aucune déficience observée sur la maçonnerie	s.o.
4	1918	2002	Pierre massive de 18 po	Fibre de verre de 2 po	Plaque de plâtre de $\frac{1}{2}$ po sur mur à ossature d'acier	Maison individuelle; vitrée à 15%; toit en pente, gouttières et avant-toits	Mur rejointoyé récemment. Aucune déficience apparente	Non concluants : zone tampon dynamique dotée d'une lame d'air contrôlée et chauffée
5	1861	2003	Pierre et brique	Mousse de polyuréthane de $1\frac{1}{2}$ po	Plaque de plâtre de $\frac{1}{2}$ po sur mur à ossature d'acier	Bâtiment de 6 étages de forme rectangulaire; vitré à 40% et doté de corniches	Fissures dans l'angle, à la jonction des façades de pierre et de brique	Augmentation du taux de condensation à l'intérieur du mur
6	1854 - 1946	2003	Divers types de maçonnerie (12)	Mousse de polyuréthane de 1 po	Plaque de plâtre de $\frac{1}{2}$ po sur mur à ossature d'acier	Bâtiment de 8 étages de forme rectangulaire; vitré à 20%; sans saillie ni corniche; exposition sur 4 faces	Travaux de rattrapage en cours	Augmentation du taux de condensation à l'intérieur du mur
7	1920	2001	Pierre de champs de 4 po et paroi triple en brique d'argile	Mousse de polyuréthane de $1\frac{1}{2}$ po	Mur à ossature d'acier, isolant en fibre de verre, plaque de plâtre de $\frac{1}{2}$ po revêtue d'aluminium	Maison individuelle; vitrée à 15%; toit en pente et avant-toits; aucune gouttière	Bon état. Une fissure mineure observée	Augmentation du taux de condensation à l'intérieur du mur
8	1906	1996	Brique de 4 po, lame d'air de 2 po et bloc de béton de 8 po	Mousse de polyuréthane de $1\frac{1}{2}$ po	Fourrures d'acier, paravapeur de type I, plaque de plâtre de $\frac{1}{2}$ po	Bâtiment de 6 étages de forme rectangulaire; revêtu à 40% de vitrage; aucune saillie ni corniche	Aucune déficience apparente	Réduction du taux de condensation à l'intérieur du mur
9	1930	1999	Mur de brique de 13 po d'épaisseur (à triple paroi)	Mousse de polyuréthane de $1\frac{1}{2}$ po	Plaque de plâtre de $\frac{1}{2}$ po sur mur à ossature d'acier	Bâtiment de 6 étages de forme rectangulaire; revêtu à 40% de vitrage	Fissures du mur de brique dans un coin du bâtiment	Augmentation du taux de condensation à l'intérieur du mur
10	1890-1905	2001	Blocs de pierre calcaire de 18 à 24 po	Mousse de polyuréthane de 1 po	Paravapeur appliquée à l'état liquide, mur à ossature de bois de 2 po, plaque de plâtre de $\frac{1}{2}$ po	Maison individuelle; revêtue à 25% de vitrage; toit en pente, gouttières et avant-toits	Aucune déficience apparente	Augmentation du taux de condensation à l'intérieur du mur

## SOMMAIRE ET DISCUSSION

La comparaison des résultats de la modélisation informatique des murs, avant et après les travaux de rattrapage, laisse croire que l'augmentation de la résistance thermique sur la paroi intérieure du mur en maçonnerie existant a engendré des conditions favorables à une hausse du taux de condensation dans six des huit cas mesurables, sous des conditions ambiantes identiques (température et humidité relative). Par conséquent, les chercheurs arrivent à la conclusion qu'il existe, en théorie, une possibilité accrue de détérioration de la maçonnerie en ce qui a trait aux cas particuliers à l'étude. On a toutefois relevé, dans tous les cas, peu ou pas de signes ou de preuves visibles de détérioration, au moment de l'examen, sur les murs extérieurs en maçonnerie massive des bâtiments que l'on pouvait imputer directement à la méthode de rattrapage énergétique employée.

On peut expliquer comme suit les écarts apparents entre les résultats de la modélisation informatique, qui indiquaient une augmentation relative du taux de condensation dans six des études de cas, et l'examen visuel extérieur des murs en maçonnerie qui n'a fourni aucune preuve de détérioration :

- À cette étape-ci, les résultats préliminaires suggèrent, qu'à court terme, le fait d'isoler des murs extérieurs en maçonnerie massive ne semble pas causer de détérioration lorsque la méthode de rattrapage comprend la pose d'un pare-air et d'un pare-vapeur adéquats.
- Le rattrapage semble fournir de meilleurs résultats si l'on a ménagé une lame d'air derrière le mur en maçonnerie extérieur, du côté froid du nouveau pare-air. Dans les deux cas où il avait été prévu une lame d'air du côté froid du pare-air, la modélisation statique a révélé une réduction du taux comparatif de diffusion de la condensation dans le mur amélioré. Cette cavité ou lame d'air trouvée couramment dans les placages de brique à paroi simple permet aussi d'améliorer le drainage des murs à pressions équilibrées, de réduire l'accumulation d'humidité à l'intérieur du mur et d'accroître le taux d'assèchement des parois des murs de maçonnerie creux, par la convection et le mouvement de l'air sur la paroi arrière de la maçonnerie.

On s'attend à ce que les résultats des évaluations préliminaires de la performance obtenus dans le cadre des présentes recherches servent de repère au moment d'effectuer d'autres évaluations de ces mêmes murs extérieurs en maçonnerie massive.

**Directeur de projet :** Bill Semple

**Consultants en recherche :** Mario Goncalves, Patenaude-Trempe Inc.

### Recherche sur le logement à la SCHL

Aux termes de la partie IX de la *Loi nationale sur l'habitation*, le gouvernement du Canada verse des fonds à la SCHL afin de lui permettre de faire de la recherche sur les aspects socio-économiques et techniques du logement et des domaines connexes, et d'en publier et d'en diffuser les résultats.

Le présent feuillet documentaire fait partie d'une série visant à vous informer sur la nature et la portée du programme de recherche de la SCHL.

Pour consulter d'autres feuillets *Le Point en recherche* et pour prendre connaissance d'un large éventail de produits d'information, visitez notre site Web au

**www.schl.ca**

ou communiquez avec la

Société canadienne d'hypothèques et de logement  
700, chemin de Montréal  
Ottawa (Ontario)  
K1A 0P7  
Téléphone : 1-800-668-2642  
Télécopieur : 1-800-245-9274